



## Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement : application au Nord-Pas de Calais

Julien Caudeville, Gérard Govaert, Roseline Bonnard, Olivier Blanchard, Anthony Ung, Bertrand Bessagnet, André Cicoella

### ► To cite this version:

Julien Caudeville, Gérard Govaert, Roseline Bonnard, Olivier Blanchard, Anthony Ung, et al.. Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement : application au Nord-Pas de Calais. Air pur, 2008, 76, pp.49-55. ineris-00961931

**HAL Id: ineris-00961931**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00961931>**

Submitted on 20 Mar 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement : application au Nord Pas de Calais

Julien Caudeville\*,\*\* — Gérard Govaert\*\* — Roseline Bonnard\* — Olivier Blanchard\* — Anthony Ung\* — Bertrand Bessagnet\* — André Cicoella\*

\* INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

\*\* UTC : Université de Technologie de Compiègne

julien.caudeville@ineris.fr

## RÉSUMÉ

L'utilisation couplée de modèle multimédia et de Système d'Information Géographique (SIG) s'est largement développée ces dernières années pour étudier l'exposition des populations aux substances chimiques. Les décideurs sont confrontés depuis quelques années au besoin de développement d'outils nécessaires à la prise en compte des risques sanitaires. Dans ce cadre, le projet SIGFRIED 1 (Système d'Information Géographique, Facteurs de Risques Environnementaux et Décès par cancer) vise à construire un indicateur spatialisé de l'exposition de la population française aux polluants environnementaux. Pour cela un modèle multimédia d'exposition est utilisé pour le calcul des doses d'exposition de populations cibles liées à l'ingestion de produits d'alimentation, d'eau de consommation et à l'inhalation de contaminants atmosphériques. L'indicateur intègre dans un SIG des bases de données géoréférencées environnementales (eau, air, sol), comportementales et démographiques. Le modèle utilise les équations de transfert de polluant de la source à l'individu. L'étude a pour objectif principal d'identifier les zones géographiques potentiellement responsables d'une surexposition et leurs déterminants (types de polluant, voies d'exposition, classes de population à risque) par l'analyse des variations de l'indicateur environnemental. Dans cet article, sont présentés la méthodologie générale et les résultats de modélisation de l'indicateur d'exposition aux Elément Traces Métallique (ETM) sur la région Nord-Pas-de-Calais. La modélisation a permis de détecter des zones de surexposition potentielle localisées sur des agglomérations ou des sites de grandes sources de pollution bien identifiés. Les résultats permettent également de caractériser les déterminants de l'exposition (parts locales et ubiquitaires, voies d'exposition et polluants). Cependant l'utilisation de données de formats et de sources différentes, non spécifiquement adaptées pour ce type d'étude, génère de nombreuses incertitudes sur l'ensemble de la chaîne de calcul qui seront étudiées au cours d'une prochaine étude.

## CADRE DE L'ETUDE

Cette étude est menée dans le cadre d'un travail de thèse rattachée à l'UTC et effectuée à l'INERIS. Elle est financée d'une part, par la région Picardie dans le cadre du projet CIRCE (Cancer Inégalités Régionales Cantonales et Environnement) qui vise à analyser les disparités géographiques de répartition de cancer et, d'autre part, cofinancé par le MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer) dans l'objectif de cartographier les inégalités environnementales en France.

## I - INTRODUCTION

Les évaluations de risques sanitaires (ERS) ont pour objectif de décrire le plus précisément possible les conséquences sur la santé des populations d'une exposition à une substance dangereuse. L'ERS peut être également utilisée pour déterminer les populations potentiellement surexposées et déterminer si les risques associés sont acceptables. Les décideurs sont confrontés depuis quelques

années au besoin de développement d'outils nécessaires à la prise en compte des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact des émissions polluantes. Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil informatique conçu pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et la cartographie de données. Cet outil est particulièrement adapté pour évaluer et cartographier l'exposition des populations (Briggs et al, 2000). De nombreuses études ont utilisé les SIG pour étudier les risques des populations liés à la contamination des différents médias environnementaux : les sols (Hough et al, 2004), les eaux de consommation (Meliker et al, 2007), les eaux de surface (Verkasalo et al, 2004), l'air (Axelrad et al, 1999) ou l'ensemble de ces compartiments par une approche multimédia (Morra et al, 2006). Les agences fédérales américaines se sont dotées de programme SIG dans les procédures d'évaluation de risque. Un travail a été conduit notamment par l'US EPA (United States Environmental Protection Agency) sur l'ensemble du territoire des Etats-Unis pour cartographier les disparités environnementales (Woodruff et al, 1998).

## II - OBJECTIFS

L'objectif du projet SIGFRIED 1 est de construire dans un SIG des bases de données environnementales spatialisées par milieu (eau, air et sol) sur le territoire français. Ces bases de données seront utilisées pour estimer l'exposition des populations à différents polluants. L'étude vise à identifier des zones de surexposition potentielle des populations aux polluants chimiques et leurs déterminants (types de polluant, voies d'exposition, classes de population à risque) par l'analyse des variations de l'indicateur environnemental.

## III - METHODE

Dans l'objectif de cartographier un indicateur d'exposition, un modèle multimédia d'exposition est utilisé pour le calcul des doses d'exposition de populations cibles liées à l'ingestion de produits d'alimentation, d'eau de consommation et à l'inhalation de contaminants atmosphériques. Utilisant les équations de transfert et l'architecture du modèle développé par l'INERIS (Bonnard, 2003), la composante spatiale a été apportée à l'outil de calcul par son couplage avec un SIG.

### 1 - Description du modèle d'exposition multimédia

Le modèle est basé sur la résolution des équations de transfert telles que celles présentées dans divers documents d'évaluations des risques de l'US EPA (US EPA, 1998). Pour cette étude, le modèle évalue la dose journalière d'exposition pour des mailles de 1 km<sup>2</sup> définies sur l'ensemble de la région Nord-Pas-de-Calais.

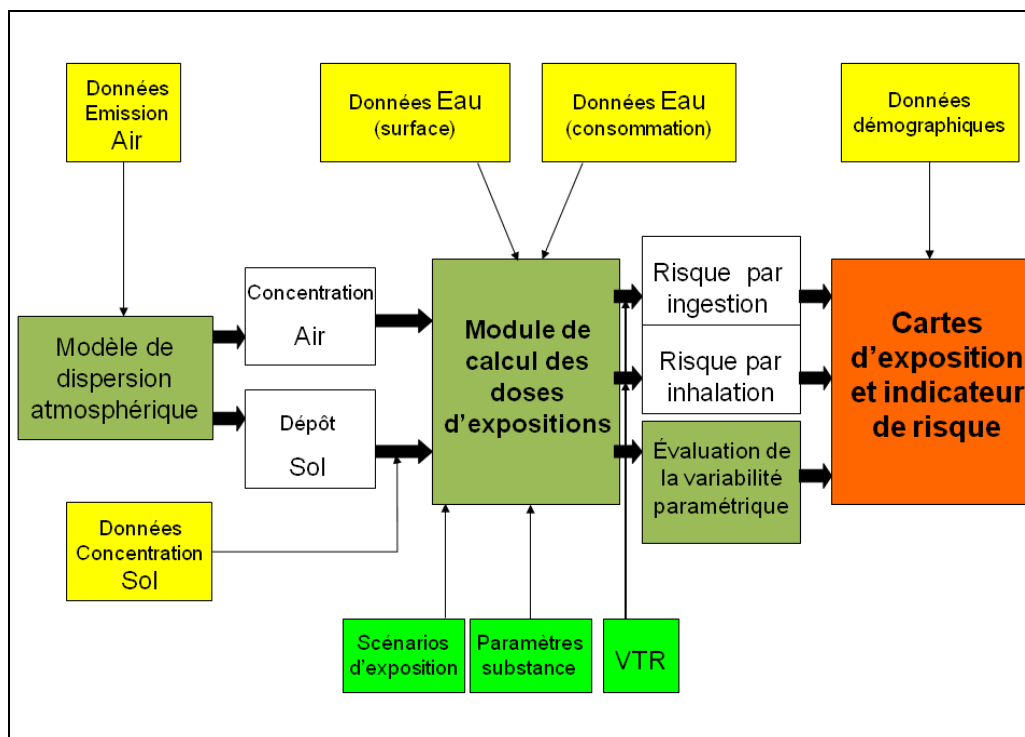


Figure 1. Description du module de calcul de l'indicateur d'exposition

La figure 1 présente le diagramme architectural de l'outil développé. Il utilise deux types différents de bases de données : les bases de données spatiales, intégrées dans le SIG, correspondant aux données d'entrée et de sortie du modèle ainsi que les bases de données relationnelles décrivant les propriétés physico-chimiques des substances et les paramètres de scénarisation. Certaines données d'entrée correspondent aux bases de données environnementales spatialisées par milieu après traitement. Pour chacune des substances prises en compte, les concentrations doivent être définies dans chaque média environnemental (sol, air, eau de surface, sédiment, eau de consommation). La construction de ces variables résulte de plusieurs étapes : l'identification des sources de données, l'analyse de la qualité et de la représentativité des bases de données, leur prétraitement, la construction de données ad hoc (interpolation, modélisation, avis d'expert), leur discrétisation sur la maille d'étude (homogénéisation, agrégation ou désagrégation des données) et leur intégration dans le module de calcul.

## 2 - Site d'étude

La région Nord - Pas de Calais compte 3 997 700 habitants pour une superficie de 12 414 km<sup>2</sup>, soit 6,7 % de la population française pour un territoire représentant 1,8 % de la surface nationale. C'est une région au contexte industriel important et varié (sidérurgie, métallurgie, raffinage de produits pétroliers, industries de l'automobile, papeteries, carrières, unités d'incinération d'ordures ménagères, industries agro-alimentaires...). Quel que soit l'élément métallique, la première source d'émissions en Nord-Pas-de-Calais concerne le secteur de l'industrie manufacturière (Anquelle A., 2009).

## 3 - Choix des données

Dans cet article, sont présentés les résultats de modélisation de l'indicateur d'exposition aux Elément Traces Métallique (ETM) sur la région Nord-Pas-de-Calais. Des travaux similaires sont menés actuellement sur l'ensemble du territoire français.

A partir de données météorologiques et d'émissions d'EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) et du TNO (National and regional emission monitoring), le modèle eulérien CHIMERE (Bessagnet et al., 2008) est capable de simuler le transport des contaminants sur l'ensemble du territoire français sur des mailles de 10 x 15 km. Les données de dépôt et de concentration atmosphériques sont fournies par le modèle pour chacune des mailles d'étude.

La base SISE'EAUX (Davezac et al., 2008), gérée par le Ministère chargé de la Santé, est utilisée pour renseigner les données de concentration en polluant dans les eaux de consommation. Cette base de données est un système cohérent de définition des données administratives, techniques et analytiques de la distribution d'eau en France. Selon le type d'installation, les données sont spatialisées au niveau de la commune, puis agrégées sur la grille de référence.

Le programme NICOSIA (Adème, INRA d'Orléans et INRA d'Arras) correspond à l'agrégation des populations d'analyses de sol de surface de 5 sources correspondant chacune à une stratégie d'échantillonnage différente sur la région Nord Pas de Calais. L'ensemble des différentes collectes rassemble les analyses des horizons de plus de 3800 sites sur la région décrivant les teneurs en ETMs et les caractères physico-chimiques du sol (pH, matière organique...).

Les données relatives aux eaux de surfaces correspondent aux données d'analyse du réseau de mesures de l'agence de l'eau Artois-Picardie. A partir des équations de transfert préconisées par l'US EPA, des valeurs de concentration dans la colonne d'eau et dans les sédiments, des peuplements piscicoles décrits par la base de donnée MAP (Milieu Aquatique et Piscicole, ONEMA) et de la distance au cours d'eau est construit un proxy d'exposition des populations via le poisson d'eau douce.

#### 4 - Evaluation des transferts environnementaux

Pour calculer les concentrations en substances chimiques dans les différentes matrices d'exposition, les méthodologies notamment utilisées par l'US EPA sont classiquement utilisées. Des coefficients de transfert permettent d'évaluer les concentrations d'un milieu aval à partir des concentrations d'un (ou plusieurs) milieu amont ou source sous l'hypothèse que l'état stationnaire est atteint. Dans le cadre de cette étude, seule la modélisation déterministe est abordée. Pour les ETMs, le choix des coefficients de transfert provient soit des valeurs proposées par l'US EPA soit d'une large base de données (projet BAPPET, 2005-2007) recensant un grand nombre des études relatives aux calculs de ces coefficients à partir de desquelles les médianes sont construites.

#### 5 - Choix des voies d'exposition

Les voies d'exposition retenues pour l'étude sont l'inhalation (air extérieur) et l'ingestion (consommation alimentaire). Ainsi les concentrations dans les végétaux sont évaluées à partir des concentrations dans le sol et des dépôts atmosphériques, les concentrations dans les produits d'origine animale à partir des compartiments végétal et sol et les concentrations dans le poisson d'eau douce à partir des sédiments et de la colonne d'eau. L'ingestion de sol, d'eau de consommation ainsi que l'inhalation de contaminants atmosphériques sont estimées directement à partir de la concentration dans les milieux environnementaux, utilisée en données d'entrée du modèle.

#### 6 - Caractérisation des populations cibles

Des scénarios d'exposition sont construits de manière à caractériser des groupes de référent (classe d'âge, localisation, comportement alimentaire, durée d'exposition...) et de quantifier leur exposition aux différents polluants. Pour cette étude, six classes d'âge ont été définies (de 0 à 1 an, de 1 à 2 ans, de 2 à 7 ans, de 7 à 12 ans, de 12 à 17 ans et de 17 à 60 ans). Les données morphologiques et alimentaires de l'enquête INCA (Volatier, 2000) pour la ZEAT (Zone d'Etude et d'Aménagement du Territoire) Nord-Pas-de-Calais agrégées par classe d'âge proviennent de la base CIBLEX (ADEME,

2003). Dans la simulation, les populations sont exposées pour une durée de 30 ans. Les données de teneurs en contaminants dans les aliments commerciaux (non local) proviennent de l'Etude d'Alimentation Totale (EAT) de l'AFSSA-DGAL-INRA (AFSSA, 2004). Pour l'ingestion, quatre scénarios de consommation de produit locaux ont été définis, basés sur une étude de l'INSEE (Bertrand, 1993) et spatialisés en fonction du nombre d'habitants de la commune (recensement de la population française de 1999) et de la couverture au sol (CORINE Land Cover).

## 7 - Calcul de la dose d'exposition

La dose journalière d'exposition (DJE) représente la quantité de substances chimiques inhalée ou/et ingérée par un individu à partir des différents milieux à partir desquelles l'individu est en contact (eau, air, sol, nourriture). Les populations peuvent être exposées aux substances via de multiples sources, soit locales, soit ubiquitaires. Différentes catégories d'individus peuvent être prises en compte, chacune étant caractérisée par des propriétés physiologiques et des comportements alimentaires différents. L'indicateur combine les expositions liées à l'ingestion de produits locaux (modélisés) et commerciaux (calculées à partir des teneurs en contaminants des produits alimentaires renseignés par l'EAT). La DJE dans l'étude présentée ici, relative au risque cancérigène, est calculée selon l'équation suivante :

$$DJE_{i,m} = \sum_{k,j} \frac{DE_k \times FE_k \times Q_{j,k} \times (Cp_{i,k,m} \times f_{AC,j,m} + Cc_{i,k,n} \times (1 - f_{AC,j,m}))}{PC_k \times PE}$$

avec  $DJE_{i,m}$  : Dose journalière d'exposition pour une substance i et pour la maille m ( $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ),

$Q_{j,k}$  : Quantité de matrice j journalière ingérée ou inhalée par la classe d'âge k ( $\text{kg.j}^{-1}$ ),

$Cp_{i,k,m}$  : Concentration en substance i dans la matrice d'exposition j issue de production locale dans la maille de calcul m ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ),

$Cc_{i,k,n}$  : Concentration en substance i dans la matrice d'exposition j issue de production non locale ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ),

$f_{AC,j,m}$  : Fraction de matrice d'exposition j provenant de la zone d'exposition de la maille m (facteur d'autoconsommation),

$FE_k$  : Fréquence d'exposition de la classe d'âge k ( $\text{jours.an}^{-1}$ ),

$DE_{j,k}$  : Durée d'exposition de la classe d'âge k (années),

$PC_k$  : Poids corporel moyen de la classe de population k sur la période d'exposition,

PE : Période d'âge ; la période d'exposition est de 25550 jours, basée sur une durée de vie de 70 ans.

## IV - RESULTATS ET DISCUSSION

Sur les 9 ETMs étudiés (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn), seuls 3 sont présentés ici (As, Cd, Pb). Les voies d'exposition, les milieux et les matrices environnementales, déterminants de ces zones, sont caractérisés et hiérarchisés.

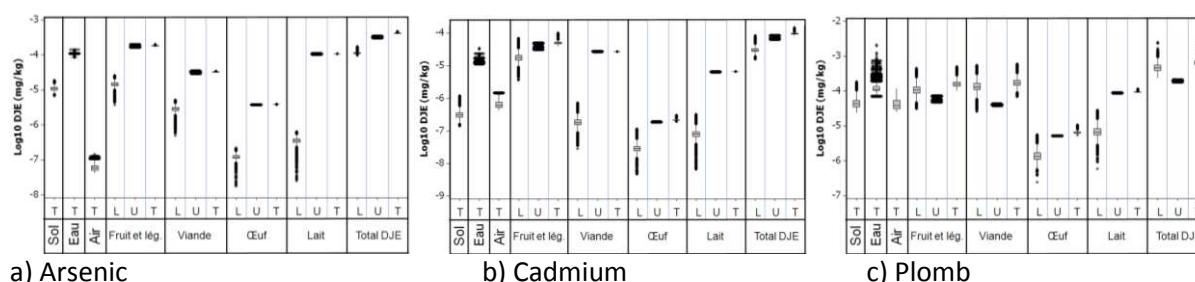


Figure 2 : Contribution des différentes voies d'exposition au calcul de la DJE. (L : local ; U : ubiquitaire et T : total).

La figure 2 présente la contribution des différentes voies d'exposition au calcul de la DJE (mg/kg-1.j-1, échelle logarithmique) dans le cas de l'arsenic, du cadmium et du plomb. Les tableaux rassemblent l'ensemble des résultats des mailles de l'étude et permettent d'estimer le poids des parts locales et ubiquitaires. L'importance des différentes voies d'exposition varie sensiblement d'un polluant à l'autre. Pour chaque contaminant étudié ici, l'ingestion de viande, de lait, d'eau de consommation, de fruits et de légumes sont les contributeurs prépondérants au calcul de la DJE. En revanche, selon la modélisation, l'ingestion d'œufs et l'inhalation ne semblent pas être des voies d'exposition significatives.

La variabilité des différentes voies correspond au caractère local de la voie d'exposition et aux variations spatiales des teneurs en contaminant des compartiments environnementaux. Pour l'ingestion directe de sol, d'eau de consommation et l'inhalation de polluants atmosphériques, composante à caractère strictement locale, la variabilité est le reflet direct de la contamination des compartiments environnementaux. Dans le cas des autres produits alimentaires dont les parts non locales sont prépondérantes, les DJE sont lissés par des facteurs d'autoconsommation très faible. Pour l'arsenic, l'importance de ces produits locaux est négligeable par rapport aux consommations ubiquitaires. A l'inverse, l'effet local est dominant pour les expositions au plomb.

Ces résultats présentent de fortes incertitudes liées à l'utilisation de teneurs totales ne prenant pas en compte la spéciation des substances, le mode de détermination des coefficients de transfert et d'agrégation des données interindividuelles.

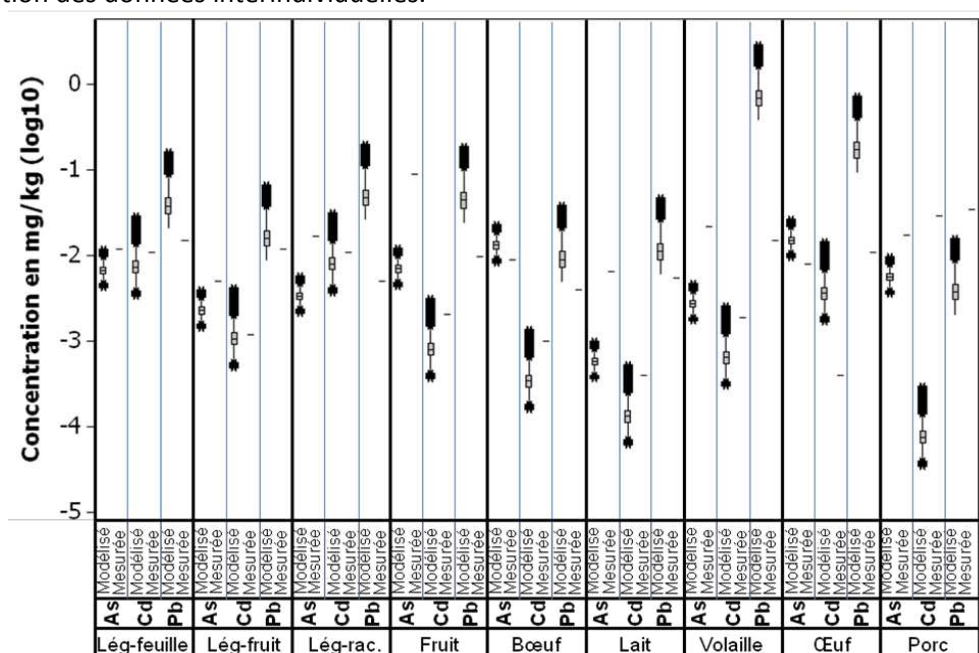
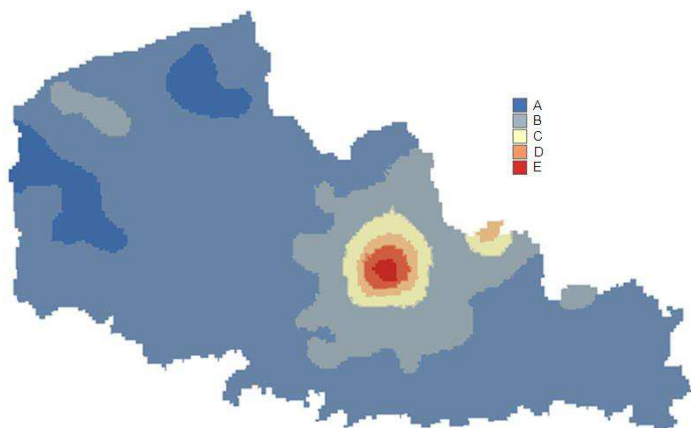


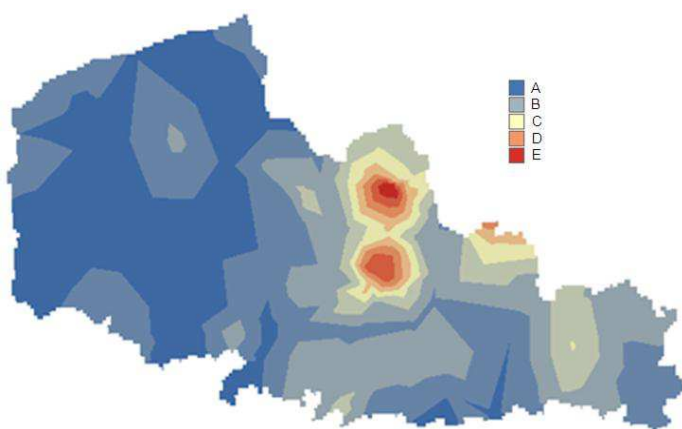
Figure 3 : Comparaison des concentrations prédites par le modèle avec celles mesurées au cours de la première EAT pour l'arsenic, le cadmium et le plomb.

La comparaison des concentrations dans les matrices d'exposition prédites par le modèle et celles mesurées de l'Etude d'Alimentation Totale (EAT) est présentée dans la figure 3. L'EAT fournit des données de mesure d'exposition d'aliments tels que consommés par la population. La figure rassemble l'ensemble des résultats de la modélisation de l'ensemble des mailles d'étude (colonne « modélisée ») et les valeurs de l'EAT (colonne « mesurée ») par aliment type et par polluant. Pour l'étude, les données alimentaires ont été agrégées pour fournir des teneurs en contaminant par type d'aliment pour les consommations de produits non locaux. L'analyse des différences entre concentration prédite et mesurée permet d'estimer les distorsions générées par l'utilisation de différents scénarios d'exposition. Les différences entre ces deux types de données peuvent

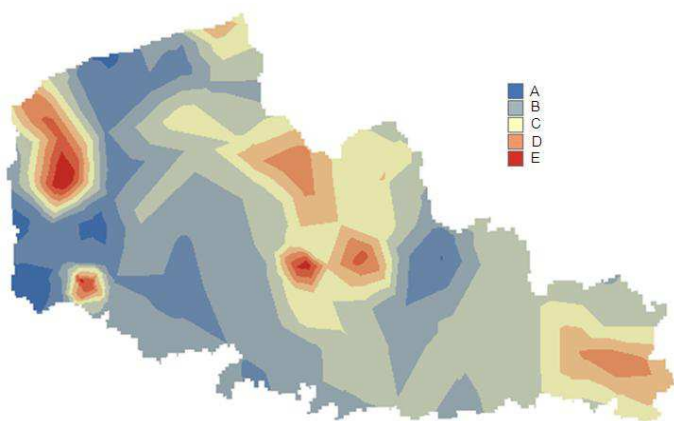
correspondre à un défaut de modélisation, un problème de représentativité spatiale (l'EAT renseigne sur les teneurs en contaminant de produits couvrant l'ensemble de la France) ou d'échantillonnage des données mesurées. Les produits locaux étant surtout consommés dans les zones rurales et inversement, les produits commerciaux étant plus consommés dans les zones urbaines, l'impact de la contamination des compartiments environnementaux locaux sur le risque lié à l'ingestion sera relatif au degré de ruralité de la maille considérée. Les données de dépôt et de concentration atmosphérique, étant agrégées sur des mailles plus larges que celles de l'indicateur, seront sous-estimées dans les zones de fortes émissions généralement plus urbanisées. Pour pouvoir au mieux comparer les éléments des différents scénarios entre eux, les distorsions générées par l'utilisation de scénarios d'ingestion différents sont minimisées par l'utilisation de techniques de lissage bayésien.



a) Cadmium



b) Plomb





### c) Arsenic

Figure 4 : Cartographie de l'indicateur d'exposition par polluant

Un SIG est utilisé pour cartographier les doses d'exposition par polluant sur la région Nord-Pas-de-Calais. Trois cartes sont présentées dans la figure 4, la première correspondant aux expositions d'arsenic, la deuxième au cadmium et la dernière au plomb. Des méthodes statistiques (Moran's I test) sont utilisées pour identifier des zones de surexposition potentielle significativement élevée. Cinq catégories sont définies allant de A à E selon le niveau d'exposition. Les indicateurs correspondant au cadmium et au plomb permettent de révéler deux zones identiques de surexposition potentielle parmi lesquelles les grandes sources de pollution bien identifiées en Nord-Pas-de-Calais (au centre dans le bassin minier : Metaleurop et Umicore ; à l'est : Mortagne-du-Nord). Une troisième zone est identifiée pour le plomb, au nord, correspondant à l'agglomération lilloise, caractérisée par une pollution locale induite par le trafic automobile et les rejets industriels auxquels s'ajoute un apport industriel extérieur originaire du bassin minier et du littoral. Les tests sur l'indicateur relatif à l'arsenic permettent d'identifier la présence de zone de surexposition potentielle à proximité des sites d'Umicore, de Metaleurop, sur les agglomérations de Lille, de Lens et de Dunkerque. Les zones identifiées à l'ouest, au sud-est et dans Plaine de la Lys sont liées à de fortes concentrations en arsenic dans le sol d'origine naturelle (Baize et Douay, 2008), celle au sud-ouest, à de fortes concentrations dans les eaux de consommation.

## V - CONCLUSION ET PERSPECTIVE

L'évaluation des risques sanitaire propose une structuration de travail privilégiée permettant l'analyse des transferts de contaminant et leurs conséquences sur la santé humaine. L'utilisation de données de formats et de sources différentes, non spécifiquement adaptées pour ce type d'étude, génère de nombreuses incertitudes sur l'ensemble de la chaîne de calcul qui seront étudiées au cours d'une prochaine étude. L'utilisation des connaissances locales sur les milieux et d'outils de statistique spatiale (interpolation, détection de cluster...) permettent de générer de nouvelles hypothèses quand à l'exposition de la population. Le modèle a permis de détecter des zones de surexpositions potentielles localisées sur des agglomérations ou des sites de grandes sources de pollution bien identifiés en Nord-Pas-de-Calais. Les résultats permettent de caractériser les déterminants de l'exposition (zones et populations vulnérables, part locale et ubiquitaire, voie d'exposition et polluant). Les facteurs de transfert, paramètres les plus sensibles au modèle, seront revus dans un cadre de modélisation probabiliste. Des cartes seront également construites pour un éventail plus vaste de polluants (POP, autres ETMS...) et sur l'ensemble du territoire Français. Au cours de prochaines études, ces cartes d'exposition seront confrontées aux disparités de répartition de mortalité par cancer, construites par ailleurs régionalement par l'Observatoire Régional de la Santé Nord-Pas-de-Calais et par les autres régions partenaires du projet CIRCE (Picardie, Ile-de-France, Rhône-Alpes, Bretagne).

## VI - BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, Base de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, 2003, ADEME/IRSN.
- Anquelle A., « La surveillance des métaux lourds en Nord-Pas-de-Calais : un regard sur 25 ans », Air Pur – 2009.
- Axelrad D., Morello-Frosch R., Woodruff T., Caldwell J. (1999). Assessment of estimated 1990 air toxics concentrations in urban areas in the United States, *Environmental Science & Policy*, vol. 2, p. 397-411.
- Baize D., Douay F. (2008). Spatialisation des éléments traces dans les sols en région Nord-Pas de Calais, ADEME/INRA.
- Bertrand M. (1993). Consommation et lieux d'achat des produits alimentaires en 1991. *Collection INSEE Résultats*, Paris.

- Bessagnet B., Menut L., Curci G., Hodzic A., Guillaume B., Liousse C., Moukhtar S., Pun B., Seigneur C., Schultz M. (2008). Regional modeling of carbonaceous aerosols over Europe-focus in secondary organic aerosols, *Journal of Atmospheric Chemistry*, vol. 61, n° 3, p. 175-202.
- Bonnard R. (2003). Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion - Partie 2 : Exposition par voies indirectes. DRC-03-45956/ERSA-RBn, INERIS, Verneuil en Halatte, France.
- Briggs, D.J., de Hoogh C., Gulliver J., Wills J., Elliott P., Kingham S., Smallbone K. (2000). A regression-based method for mapping traffic-related air pollution: application and testing in four contrasting urban environments, *The Science of The Total Environment*, vol. 253, n° 1-3, p. 151-167.
- Davezac H, Grandguillot G., Robin A., Saout C. (2008). L'eau potable en France 2005-2006, Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative, Paris.
- Hough R., Breward N., Young S., Crout N., Tye A., Moir A., Thornton L. (2004). Assessing Potential Risk of Heavy Metal Exposure from consumption of Home-Produced Vegetables by Urban Populations, *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 2, p. 215-221.
- INERIS. (2009). Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). mars 2009, Référence : INERIS- DRC-08-94380-11776C.
- INRA-DGAL-AFSSA. (2004). Etude de l'alimentation totale française, INRA-DGAL-AFSSA, Mycotoxines, minéraux et éléments traces, Coord. Leblanc J.C.
- Meliker J., Slotnick M., AvRuskin G., Kaufmann A., Fedewa S., Goovaerts P., Jacquez G., Nriagu J. (2007). Individual lifetime exposure to inorganic arsenic using a Space-Time Information System » *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 80, p. 184-197.
- Morra P., Bagli S., Spadoni G. (2006). The analysis of human health risk with a detailed procedure operating in a GIS environment. *Environment International*, vol. 32, p. 444-454.
- US-EPA. (1998). HHRAP : Human Health Risk Assessment Protocol for hazardous waste combustion facilities, Peer review draft, Office of Solid Waste, EPA/530/0-98/001A.
- US-EPA, NCEA, MPE. (1998). The methodology for assessing Health Risks associated with Multiple Pathways of Exposure to combustor, EPA/600/R-98/137.
- Vautard R., Beekmann M., Roux J., Gombert D. (2001). Validation of a hybrid forecasting system for the ozone concentrations over the Paris area, *Atmos. Environ.*, vol. 35, p. 2449-2461.
- Verkasalo P., Kokki E., Pukkala E., Vartiainen T., Kiviranta H., Penttinen A., Pekkanen J. (2004). Cancer near a polluted river in Finland », *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 9, p. 1026-1031.
- Volatier J.L. (2000). Enquête INCA individuelle et nationale sur les consommations alimentaires, *Editions Technique & Documentation*, ISBN : 2-7430-0426-6.
- Woodruff T. J., Caldwell J., Morello-Frosch R., Rosenbaum A. (1998). Public Health Implications of 1990 Air Toxics Concentrations across the United States, *Environmental Health Perspectives*, vol. 106, n° 5, p. 245-251.